

537, 551

Rec'd PCT/PTO 03 JUN 2005

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2004 年 6 月 17 日 (17.06.2004)

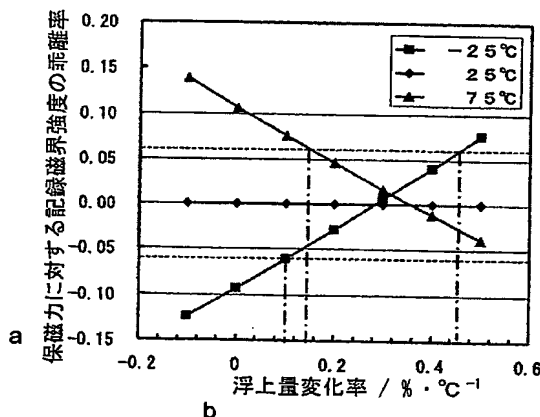
PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/051652 A1

- (51) 国際特許分類: G11B 21/21, 5/60, 33/14 (72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 高木 進 (TAK-
(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/015302 AGI, Susumu) [JP/JP]; 〒793-0021 愛媛県 西条市 神拝
乙 28-2-606 Ehime (JP). 溝尾 嘉章 (MIZOH, Yoshiaki)
(22) 国際出願日: 2003 年 11 月 28 日 (28.11.2003) [JP/JP]; 〒572-0029 大阪府 寝屋川市 寿町 6-16 Osaka
(JP).
(25) 国際出願の言語: 日本語 (74) 代理人: 森本 義弘 (MORIMOTO, Yoshihiro); 〒550-
0005 大阪府 大阪市西区 西本町 1 丁目 10 番 10 号
(26) 国際公開の言語: 日本語 西本町全日空ビル 4 階 Osaka (JP).
(30) 優先権データ: (81) 指定国 (国内): CN, US.
特願 2002-352382 2002 年 12 月 4 日 (04.12.2002) JP
添付公開書類:
— 国際調査報告書
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 松下電
器産業株式会社 (MATSUSHITA ELECTRIC INDUS-
TRIAL CO., LTD.) [JP/JP]; 〒571-8501 大阪府 門真市
大字門真 1006 番地 Osaka (JP).
2 文字コード及び他の略語については、定期発行される
各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: MAGNETIC HEAD ASSEMBLY AND MAGNETIC DISC DEVICE

(54) 発明の名称: 磁気ヘッドアセンブリおよび磁気ディスク装置

a...DIFFERENCE RATIO OF RECORDING MAGNETIC
FIELD STRENGTH TO COERCIVE FORCEb...RATE OF CHANGE OF FLYING HEIGHT / %・℃⁻¹

(57) Abstract: A magnetic disc device usable under an easy temperature environment condition and a magnetic head assembly are disclosed. The flying height of a magnetic head slider (1) can be controlled against a change of temperature. The flying height of the magnetic head slider (1) is low at low temperatures and high at high temperature. Therefore, the variation of the coercive force of the magnetic disc (2) can be cancelled. The rate of change of the crown with respect to the temperature change is 0.26 to 0.62 nm/°C. While keeping the uniformity of the profile of the flying of the magnetic head slider (1) from the inner periphery to the outer periphery of the magnetic disc (2), the flying height can be controlled so that the flying height may be low at low temperatures and be high at high temperatures.

[続葉有]

BEST AVAILABLE COPY

WO 2004/051652 A1



(57) 要約: 広範囲な温度環境条件下で使用可能な磁気ディスク装置および、磁気ヘッドアセンブリを実現すること。磁気ヘッドスライダ(1)の浮上量を温度変動に対して制御可能な構成とすることにより、磁気ヘッドスライダ(1)の浮上量を低温では低浮上、高温では高浮上とし、磁気ディスク(2)の保磁力の変動を相殺することが可能となる。また、温度変動に対するクラウン量の変化率を $0.26 \sim 0.62 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ とすることにより、磁気ヘッドスライダ(1)の磁気ディスク(2)の内周から外周にかけての浮上のプロファイルを均一にしたまま、低温では低浮上、高温では高浮上となるように浮上量が制御可能となる。

明 細 書

磁気ヘッドアセンブリおよび磁気ディスク装置

5 技術分野

本発明は、磁気ディスクを回転させながら、先端に磁気ヘッドアセンブリを備えたアクチュエータ機構を動作させて磁気ディスクに対する磁気ヘッドスライダの位置を移動させて、磁気ヘッドスライダ上の磁気記録再生素子により磁気ディスクへの書き込みおよび読み出しを行う磁気ディスク装置及び、同装置に用いられる磁気ヘッドスライダとサスペンションからなる磁気ヘッドアセンブリに関するものである。

背景技術

一般に磁気ディスク装置は図 16 のように、アルミ合金等の金属製の筐体 17 中に、磁気ヘッドスライダ 1 とサスペンションから構成される磁気ヘッドアセンブリ 3 と、磁気ディスク 2 と、スピンドルモータなどの磁気ディスク回転駆動手段 16 と、磁気ヘッドアセンブリ 3 を磁気ディスク 2 の情報記録面に沿って移送する、アクチュエータ機構 13（ベアリング 14 とボイスコイルモータを含む）が設けられた構成となっている。

図 17 は、磁気ヘッドアセンブリ 3 を磁気ディスク側から見た詳細図であり、図 18 は、図 17 の磁気ヘッドアセンブリ 3 の分解斜視図である。図 17 および図 18 において、サスペンション 4 は、磁気ヘッドスライダ 1 を先端部近傍で担持した薄板状の板ばね 9 および配線構造体 8 を備えたフレクシャ 5 と、磁気ディスク 2 に沿う方向に設けられたフレ

クシャ 5 の先端部をディンプル 1 2 で支持するロードビーム 1 0 とを有している。

5 磁気ヘッドスライダ 1 は磁気記録媒体への記録・再生を行う磁気記録再生素子を有し、磁気ディスク 2 の回転で発生する空気流により磁気ディスク 2 に対して極微小量浮上する。このとき、磁気ヘッドスライダ 1 は磁気ディスク 2 対向面上に正圧発生部と、負圧発生部を有し、サスペンション 4 からの静荷重と磁気ヘッドスライダ 1 が発生する正圧と負圧のバランスにより、温度・圧力一定下で磁気ディスク 2 前面に渡る浮上プロファイルが一定となるように設計されている。

10 磁気ディスク装置は装置および磁気記録再生の信頼性の観点から、従来、その使用温度範囲が、例えば 5℃～55℃程度に限られており、磁気ディスク装置を使用する側に、その使用環境について注意を払ってもらう形で正常な動作が保証されている。

さらに詳しく、カーナビゲーションシステム等に搭載されている磁気
15 ディスク装置を例に挙げて説明すると、カーナビゲーション中で磁気ディスク装置は、電動ファンの直後に配置する等により、磁気ディスク装置の保証温度範囲を超えて高温な状況では、電動ファンにより空冷を施し、また、異常にカーナビゲーション内の温度が上昇した場合は、磁気
20 ディスク装置およびカーナビゲーションシステムの動作を終了させることにより、磁気ディスク装置内の情報の損失を回避するようになっている。逆に、保証範囲を超えて低温な状況では、磁気ディスク 2 の保磁力が強くなり、情報読み出しには問題ないものの、記録できない問題が生じ、車両本体のヒータにより磁気ディスク装置内の温度が一定温度以上
25 にあがるまで、書き込み動作を禁止するなどの対策がなされている（例えば、滝沢政彦、他 1 名、“HDD のナビへの応用”、平成 14 年、パイ

オニア技術情報誌 2002 Vol112 No. 1、[online]
]、[平成14年10月1日検索]、インターネット<<http://www.pioneer.co.jp/crdl/rd/pdf/12-1-3.pdf>>参照)。

- 5 磁気ディスク装置の使用温度範囲が、概略5℃～55℃程度に限定されている理由として、前述のように、情報を記録保持する磁気ディスク2の保磁力が、温度依存性を持つことが挙げられる(例えば、Tao Pan, Geoffrey W. D. Spratt, Li Tang, Li-Lien Lee, Yongchang Feng,
10 and David E. Laughlin. "Temperature dependence of coercivity in Co-based longitudinal thin-film recording media": J. Appl. Phys. 81 (8), 15 April 1997, P3952-3954
15 、[online]、[平成14年10月1日検索]、インターネット<<http://neon.mems.cmu.edu/laughlin/pdf/201.pdf>>参照)。現在の磁気ディスク装置の記録密度は、50ギガビット/平方インチに達し、記録密度の増加は年率100%とも言われており、記録密度の増加にともない、この小さい記
20 録領域で安定して記録情報を保持するために、磁気ディスク2の保磁力を高くする方向で、磁気ディスク装置の最適化がなされてきた。図19に、磁気ディスク2の保磁力の温度依存性の一例を示す。図の例では、室温(25℃)から-25度の低温状態にすることにより、保磁力が約9%増加し、室温(25℃)から+75度の高温状態にすることにより
25 、保磁力が約10%減少している。-25度から+75度の温度域で保

磁力が約 19%、-50 度から +100 度の温度域で保磁力が約 29% 変動する。そのため、室温状態で、適当なオーバーライト特性に最適化した磁気ヘッドスライダ 1 を用いて、低温状態で記録を行うと、磁気ヘッドスライダ 1 からの漏れ磁界では十分な書き込みを行えない、逆に高温状態で記録を行おうとすると、磁気ヘッドスライダ 1 からの漏れ磁界が、磁気ディスク 2 の保磁力に対して、相対的に大きくなりすぎ、磁気ヘッドスライダ 1 による被記録領域が室温時の被記録領域より大きくなり、隣接した部分の記録情報を上書きしてしまう等の問題が発生する。そのため、現状では、磁気ディスク装置の動作範囲は、概略 5℃～55℃程度に限定されている。

ところで、磁気ディスク装置内の温度変動は、磁気ヘッドスライダ 1 の浮上特性にも影響を与える。磁気ヘッドスライダ 1 の代表的な形状を図 20 に示す。磁気ヘッドスライダ 1 は前方部に空気の流入端 18、後方部に空気の流出端 19 を備え、磁気ヘッドスライダ 1 と磁気ディスク 2 の微小隙間に流れ込む空気流を利用して空気軸受け面を形成する。具体的には、流入端 18 近傍や、レール 22 およびパッド 23 と呼ばれている、磁気ヘッドスライダ 1 の磁気ディスク 2 に対する対向面の最も突出した部分の前方に階段状のステップ 21 を有し、流入端 18 から流入する空気を圧縮することにより、レール 22 およびパッド 23 と呼ばれる部分で正圧を発生し、キャビティ 24 と通常呼ばれる凹部で負圧を発生するよう構成されている。さらには、磁気記録再生素子 20 は流出端 19 近傍に設置されている。

また、磁気ヘッドスライダ 1 はクラウンと呼ばれる、曲面形状を有しており、このクラウン形状は、磁気ヘッドスライダ 1 の材料と磁気ヘッドスライダ 1 を接着し支持する薄板状の板ばね 9 との熱膨張係数の相違

により、温度に応じて変形する。通常、このクラウン形状は、低温では、凸部が張り出す、いわゆるクラウンが図 20 (b) の矢印で示すようにプラス方向に変形し、高温では、凸部が減少する、いわゆるクラウンがマイナス方向へ変化する（例えば、日本の公開公報の特開平 9 - 2 3 5 1 6 9 8 号の第 9 頁、図 1 1、図 1 2 参照）。

このクラウン変化が浮上に与える影響は、実際の浮上測定もしくは、数値解析により求めることが可能であるが、クラウンがプラスへ変化するることにより、浮上が高くなり、クラウンがマイナスへ変化するることにより浮上が減少することが知られている。

10 現在、高記録密度を達成するため、磁気ヘッドスライダ 1 と磁気ディスク 2 の空隙量、いわゆる、磁気ディスク 2 に対する磁気ヘッドスライダ 1 の浮上量は、15 nm 程度まで低下してきており、温度変動によるクラウン変化により引き起こされる浮上変化が、磁気ヘッドスライダ 1 と磁気ディスク 2 の接触を招く一つの要因となっている。この温度による浮上変化を減少する技術として、温度によるクラウン量の変化を安定
15 させるための温度補正用部材を用いる技術が開示されている（例えば、日本の公開公報の特開平 7 - 1 5 3 0 4 9 号参照）。また、磁気ヘッドスライダ 1 を接着する薄板状の板ばね 9 と磁気ヘッドスライダ 1 の間の熱膨張係数差を利用して温度によるクラウン量の変化を安定させる技術
20 も開示されている（例えば、日本の公開公報の特開平 7 - 3 2 0 4 3 5 号、特開平 7 - 6 5 5 2 5 号、特開平 7 - 3 0 7 0 6 8 号参照）。これらの技術を用いることにより、温度変動による磁気ヘッドスライダ 1 のクラウン量の変動を抑えることが可能となる。

温度変動による磁気ディスク 2 の保磁力の変動により生じる磁気記録
25 再生の信頼性の問題、温度変動による磁気ヘッドスライダ 1 の浮上量の

変動による磁気ディスク装置の信頼性の問題を解決する従来技術として、磁気ディスク装置に温度センサと、ヒータ、ペルチェ素子等を備えて、外部温度に応じて、加熱、冷却するとともに、二重構造の外殻を備えて、内部の環境を外部環境と独立させる技術が公開されている（例えば、日本の公開公報の特開 2 0 0 2 - 2 4 5 7 4 9 号を参照）。この従来技術を用いることにより、内部の環境を全く外部環境と独立させて制御することが可能となり、より広範な外部環境下で、信頼性を損なうことなく磁気ディスク装置を使うことが可能となる。

これまで、磁気ディスク装置は主に室内で用いられることが多く、磁気ディスク装置の動作保証温度範囲が、5℃～55℃であっても大きな障害とならなかった。現在すでに、磁気ディスク装置をカーナビゲーションシステムに搭載するなどの、従来とは違った用途が生まれてきており、今後、磁気ディスク装置をより厳しい環境下で用いる用途が増えてくると考えられる。例えば-20度を下回る極低温や、70度を上回るような高温環境では、従来の磁気ディスク装置は、磁気ディスク 2 の保磁力の温度依存性という磁気記録に関する信頼性の問題と、磁気ヘッドスライダの浮上の安定性という磁気ディスク装置の信頼性の問題があった。

磁気ディスク装置を装置外の環境変化に対して独立させ、温度センサと加熱・冷却機構を用いてコントロールし、広い外部環境変化に対応させるという技術も開示されているが、この構成では、これらの付加的な部材が必要になるだけでなく、温度をコントロールし磁気ディスク装置内部の温度を動作可能範囲内にコントロールするために磁気ディスク起動時に時間的な遅れを生じるといった問題がある。また、外部環境と内部環境を独立させるために二重構造の外殻を備えた場合においては、磁

気ディスク装置そのものの、サイズ・重量が増加し、携帯性を重視するような用途には向かないという問題がある。

浮上の安定性の観点に関しては、温度によるクラウン量の変化を低減し温度変動による磁気ヘッドスライダ 1 の浮上の変化を抑える技術が開示されているが、現在の負圧を利用した磁気ヘッドスライダ 1 では、温度に対してクラウン量の変化を低減した場合、磁気ディスク 2 全面にわたる浮上の安定性を均一にできないことが、発明者による修正レイノルズ方程式を用いた磁気ヘッドスライダ 1 の浮上量の解析で明らかになった。図 2 1 に、クラウン量が変わらない場合の、温度変動に対する磁気ヘッドスライダ 1 の浮上量の解析結果を示す。横軸は、磁気ヘッドスライダ 1 の磁気ディスク 2 に対する半径方向の位置、縦軸は、25℃の磁気ヘッドスライダ 1 の浮上量で規格化した規格化浮上量を示す。高温では、磁気ヘッドスライダ 1 が磁気ディスク 2 の外周にあるときに浮上が高くなり、低温では、磁気ヘッドスライダ 1 が磁気ディスク 2 の内周にあるときに浮上が高くなる。外周側で温度による浮上の変化が最も大きく、10%の浮上量の変動があり、さらには、低温時、高温時では、内周から外周にかけて浮上量が約8%変動している。内周から外周にかけてのこの大きな浮上量の変化は、磁気記録再生の信頼性と効率の観点からも、磁気ディスク装置の信頼性の観点からも望ましくない。より詳しく説明すると、内周から外周にかけて大きく浮上量の変動すると、浮上による磁気記録再生のスペーシング・ロス・ファクタを内外周で均一化できず、内周もしくは外周の浮上量が大きくなる位置で磁気記録再生の効率が悪化する。磁気記録再生の信頼性の観点から説明を行うと、例えば、高温状態で、磁気ディスク 2 の保磁力が低下している状態で、さらに内周側で浮上が低下すると、書き込み磁界が強すぎるなどの問題も生

じかねない。また、磁気ディスク装置の信頼性の観点からは、低温では外周で浮上が低下し、高温では内周で浮上が低下するため、磁気ヘッドスライダ 1 と磁気ディスク 2 の接触に関して、低温・高温の両方で懸念が生じ、磁気ディスク装置の信頼性に対する最適化を低温、高温の両方で行う必要があり、磁気ディスク装置の最適化が困難となる。

本発明は、このような不都合に鑑みて創案されたものであって、温度変動による磁気ヘッドスライダ 1 の内外周での浮上変化差を低減するとともに、外殻や加熱・冷却機構の付加的部材を用いず、さらに、磁気ディスク装置起動時の温度コントロールに要する遅延を起こさず、従来と比べ広範囲な環境条件下での動作が可能な磁気ディスク装置、およびこの磁気ディスク装置に用いられる磁気ヘッドアセンブリ 3 を提供することを目的とする。

発明の開示

15 前記従来の課題を解決するために、本発明の磁気ディスク装置は、情報の記録再生を行う磁気記録再生素子を搭載した磁気ヘッドスライダと、前記磁気ヘッドスライダを接着し支持する薄板状の板ばね、配線構造体、およびロードビームを有するサスペンションと、情報を保持する磁気ディスクと、前記磁気ディスクの回転駆動手段と、前記磁気ヘッドス
20 ライダおよび前記サスペンションからなる磁気ヘッドアセンブリを、前記磁気ディスクの情報記録面に沿って移送するアクチュエータ機構とを有する磁気ディスク装置において、前記磁気ディスク装置内の温度に応じて、前記磁気ディスクに対する前記磁気ヘッドスライダの浮上量を変化させる手段を有し、特に、室温（25℃）より低温時に、室温での浮
25 上量より浮上量を減少させ、室温より高温時に、室温での浮上量より浮

上量を増加させる手段を具備するものである。

また、本発明の磁気ディスク装置は、情報の記録再生を行う磁気記録再生素子を搭載した磁気ヘッドスライダと、前記磁気ヘッドスライダを
5 接着し支持する薄板状の板ばね、配線構造体、およびロードビームを有するサスペンションと、情報を保持する磁気ディスクと、前記磁気ディスクの回転駆動手段と、前記磁気ヘッドスライダおよび前記サスペンションからなる磁気ヘッドアセンブリを、前記磁気ディスクの情報記録面に沿って移送するアクチュエータ機構とを有する磁気ディスク装置において、前記磁気ヘッドアセンブリ内に温度変動により応力を発生させる
10 構造を備え、室温（25℃）より低温時に、前記磁気ヘッドスライダのクラウン量を小さく、室温より高温時に、前記磁気ヘッドスライダのクラウン量を大きくするものである。

さらに、本発明の磁気ヘッドアセンブリは、情報の記録再生を行う磁気記録再生素子を搭載した磁気ヘッドスライダと、前記磁気ヘッドスライダを接着し支持する薄板状の板ばねと、配線構造体と、ロードビームとを有する磁気ヘッドアセンブリにおいて、前記板ばねの熱膨張係数 α_1 、前記磁気ヘッドスライダ 1 の熱膨張係数 α_2 として、

$$-13.2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C} < \alpha_1 - \alpha_2 < -5.5 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$$

20 の関係を満足するものである。

また、本発明の磁気ディスク装置は、情報の記録再生を行う磁気記録再生素子を搭載した磁気ヘッドスライダと、前記磁気ヘッドスライダを接着し支持する薄板状の板ばね、配線構造体、およびロードビームを有するサスペンションと、情報を保持する磁気ディスクと、前記磁気ディスクの回転駆動手段と、前記磁気ヘッドスライダおよび前記サスペンシ
25

ョンからなる磁気ヘッドアセンブリを、前記磁気ディスクの情報記録面に沿って移送するアクチュエータ機構とを有する磁気ディスク装置において、前記板ばねの熱膨張係数 α_1 、前記磁気ヘッドスライダの熱膨張係数 α_2 として、

$$5 \quad -13.2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C} < \alpha_1 - \alpha_2 < -5.5 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$$

の関係を満たすものである。

さらに、本発明の磁気ヘッドアセンブリは、情報の記録再生を行う磁気記録再生素子を搭載した磁気ヘッドスライダと、前記磁気ヘッドスライダを接着し支持する薄板状の板ばねと、配線構造体と、ロードビームとを有する磁気ヘッドアセンブリにおいて、前記磁気ヘッドスライダの磁気ディスクに対する摺動面の裏面に、前記磁気ヘッドスライダを構成する材料より熱膨張係数の小さい薄膜を形成しているものである。

また、本発明の磁気ディスク装置は、情報の記録再生を行う磁気記録再生素子を搭載した磁気ヘッドスライダと、前記磁気ヘッドスライダの磁気ディスクに対する摺動面の裏面に形成された薄膜と、前記磁気ヘッドスライダの裏面を薄膜を介し接着支持する薄板状の板ばね、配線構造体、およびロードビームを有するサスペンションと、情報を保持する磁気ディスクと、前記磁気ディスクの回転駆動手段と、前記磁気ヘッドスライダおよび前記サスペンションからなる磁気ヘッドアセンブリを、前記磁気ディスクの情報記録面に沿って移送するアクチュエータ機構とを有する磁気ディスク装置において、前記薄膜の熱膨張係数が、前記磁気ヘッドスライダの熱膨張係数より小さいものである。

また、本発明の磁気ヘッドアセンブリは、情報の記録再生を行う磁気記録再生素子を搭載した磁気ヘッドスライダと、前記磁気ヘッドスライ

ダを接着し支持する薄板状の板ばねと、配線構造体と、ロードビームを有する磁気ヘッドアセンブリにおいて、前記磁気ヘッドスライダを接着し支持する前記薄膜状の板ばねが、二枚の熱膨張係数の異なる薄板からなるバイメタル構造で構成されるものである。

- 5 さらに、本発明の磁気ディスク装置は、情報の記録再生を行う磁気記録再生素子を搭載した磁気ヘッドスライダと、前記磁気ヘッドスライダを接着し支持する薄板状の板ばね、配線構造体、およびロードビームを有するサスペンションと、情報を保持する磁気ディスクと、前記磁気ディスクの回転駆動手段と、前記磁気ヘッドスライダおよび前記サスペン
- 10 ションからなる磁気ヘッドアセンブリを、前記磁気ディスクの情報記録面に沿って移送するアクチュエータ機構とを有する磁気ディスク装置において、前記磁気ヘッドスライダを接着し支持する薄膜状の板ばねが、二枚の熱膨張係数の異なる薄板からなるバイメタル構造で構成されるものである。
- 15 また、本発明の磁気ディスク装置は、情報の記録再生を行う磁気記録再生素子を搭載した磁気ヘッドスライダと、前記磁気ヘッドスライダを接着し支持する薄板状の板ばね、配線構造体、およびロードビームを有するサスペンションと、情報を保持する磁気ディスクと、前記磁気ディスクの回転駆動手段と、前記磁気ヘッドスライダおよび前記サスペンシ
- 20 ョンからなる磁気ヘッドアセンブリを、前記磁気ディスクの情報記録面に沿って移送するアクチュエータ機構とを有する磁気ディスク装置において、前記磁気ディスク装置内部の温度を検知する温度検知手段と、前記温度検知手段による温度検知結果をもとに前記磁気ディスクに対する前記磁気ヘッドスライダの浮上量を変更する浮上量制御手段とを具備す
- 25 るものである。

さらに、本発明の磁気ディスク装置は、情報の記録再生を行う磁気記録再生素子を搭載した磁気ヘッドスライダと、前記磁気ヘッドスライダを接着し支持する薄板状の板ばね、配線構造体、およびロードビームを有するサスペンションと、情報を保持する磁気ディスクと、前記磁気ディスクの回転駆動手段と、前記磁気ヘッドスライダおよび前記サスペンションからなる磁気ヘッドアセンブリを、前記磁気ディスクの情報記録面に沿って移送するアクチュエータ機構とを有する磁気ディスク装置において、前記磁気ディスク装置内部の温度を検知する温度検知手段と、前記温度検知手段による温度検知結果をもとに前記磁気ヘッドスライダのクラウン量を変更するクラウン量制御手段とを具備するものである。

以上のように、本発明の磁気ディスク装置および磁気ヘッドアセンブリによれば、従来と比べ広範囲な温度環境条件下で、安定した磁気記録・再生が可能となり、従来、磁気ディスク装置の使用が困難であった環境下でも使用できる磁気ディスク装置を実現することができる。

図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の実施の形態 1 における磁気ヘッドアセンブリの断面図である。

図 2 は、本発明の実施の形態 1 による磁気ヘッドスライダの温度と浮上特性の関係を示す図である。

図 3 は、磁気ヘッドスライダの規格化記録磁界強度と規格化浮上量の関係を示す図である。

図 4 は、磁気ディスクの規格化保磁力と温度の関係、および、 $-0.1\%/^{\circ}\text{C} \sim 0.5\%/^{\circ}\text{C}$ の平均浮上量変化率を持つ磁気ヘッドスライダの温度に対する規格化記録磁界を示す図である。

図 5 は、平均浮上量変化率に対する、保磁力と記録磁界強度の乖離率を示す図である。

図 6 は、磁気ディスクの規格化保磁力と温度の関係、および、 $0.0 \text{ nm}/^{\circ}\text{C} \sim 0.8 \text{ nm}/^{\circ}\text{C}$ のクラウン量変化率を持つ磁気ヘッドスライダの温度に対する規格化記録磁界を示す図である。

図 7 は、クラウン量変化率に対する、保磁力と記録磁界強度の乖離率を示す図である。

図 8 は、温度変動に伴うクラウン量変化を説明する図である。

図 9 は、クラウン量変化率と、磁気ヘッドスライダー板ばね間の熱膨張係数差の関係の図である。

図 10 は、本発明の実施の形態 1 における温度に対するクラウン量および規格化浮上量を示す図である。

図 11 は、本発明の実施の形態 1 における温度に対する磁気ディスクの規格化保磁力および磁気ヘッドスライダの規格化記録磁界を示す図である。

図 12 は、本発明の実施の形態 2 における磁気ヘッドアセンブリの断面図である。

図 13 は、本発明の実施の形態 2 を説明する、スライダ膜厚に対する薄膜の膜厚とクラウン量の関係を示す図である。

図 14 は、板ばねとしてバイメタルを用いた磁気ヘッドアセンブリの断面図である。

図 15 は、本発明の実施の形態 3 おける磁気ディスク装置の概略構成を示すブロック図である。

図 16 は、一般的な磁気ディスク装置の概略構造を示す図である。

図 17 は、一般的な磁気ヘッドアセンブリの詳細図である。

図 18 は、一般的な磁気ヘッドアセンブリの分解斜視図である。

図 19 は、磁気ディスクの温度と保磁力の関係を示す図である。

図 20 は、一般的な磁気ヘッドスライダの形状・構成およびクラウンの形状を示す図である。

- 5 図 21 は、クラウンが温度に対して変化しない場合の温度変動と規格化浮上量の関係を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

- 以下に、本発明の磁気ヘッドアセンブリおよび磁気ディスク装置の実
10 施の形態を図面とともに詳細に説明する。

(実施の形態 1)

- 図 1 は、本発明の第 1 の実施例における磁気ヘッドアセンブリ 3 の構成図を示すものである。図 1 において、磁気ヘッドスライダ 1 はフレク
15 シャの薄板状の板ばね 9 に接着されており、薄板状の板ばね 9 はディン
プル 12 を介してロードビーム 10 と接している。磁気ヘッドスライダ
1 の外形は縦約 1.2 mm、横約 1.0 mm、高さ約 0.3 mm である。
また、磁気ヘッドスライダ 1 の母材は、アルミナチタン酸カーバイド
であり、アルミナチタン酸カーバイドの熱膨張係数は、 7.8×10^{-6}
/°C である。フレクシャの薄板状の板ばね 9 は、ニッケルおよび鉄から
20 なる、36Ni-Fe 合金を用いる。この合金の熱膨張係数は、 1.2×10^{-6} /°C である。

以上のように構成された磁気ヘッドアセンブリ 3 について、以下、図
2 ~ 図 11 を用いて、その動作と作用を説明する。

- 図 2 に修正レイノルズ方程式を用いて解析した、この磁気ヘッドアセ
25 ンブリ 3 の構成からなる磁気ヘッドスライダ 1 の浮上量を示す。ここで

、浮上量とは、磁気ヘッドスライダ 1 の空気流出端 19 に設置されている磁気記録再生素子 20 と磁気ディスク 2 の間の物理的な空隙量を意味している。横軸は、磁気ヘッドスライダ 1 の磁気ディスク 2 に対する半径方向の位置、縦軸は、25℃の磁気ヘッドスライダ 1 の浮上量で規格化した規格化浮上量を示す。

図 21 の従来例と比較して、低温側では内周から外周に渡り均一に浮上量が低下し、高温では、内周から外周に渡り均一に浮上量が増加していることがわかる。低温で浮上を低下することにより、磁気ヘッドスライダ 1 から磁気ディスク 2 に働く実効記録磁界が大きくなり、低温で磁気ディスク 2 の保磁力が増加する効果を相殺することが可能となり、また、高温で浮上量を高くすることにより、磁気ディスク 2 の保磁力が減少する効果を相殺することが可能となり、より広範な温度環境条件下で、より安定した磁気記録が行える。

また、従来例では、内周から外周にかけての浮上量の変化量が 8 % 程度あったが、本発明の実施例 1 の磁気ヘッドアセンブリ 3 を用いた場合、磁気ヘッドスライダ 1 の内外周における浮上量の変化量は約 4 % と半減している。これは、内周から外周にかけての磁気記録再生におけるスペーシング・ロス・ファクタを均一化できることを意味しており、磁気ディスク装置の磁気記録再生の効率を向上させることができる。

さらに、内周から外周の浮上量が均一であるため、磁気ヘッド 1 と磁気ディスク 2 の接触に関する最適化も、浮上量が低くなる低温時のみに注力することができ、磁気ディスク装置の信頼性を最適化する上でも有利となる。

以下、本発明の第 1 の実施例を用いて、さらに詳細な説明を行う。

磁気ヘッドスライダ 1 上の磁気記録再生素子 20 による書きこみの磁

界強度と規格化浮上量の関係を図 3 に示す。浮上量は、磁気記録再生素子 20 の記録ボール間隔により規格化を行っている。

この浮上量と規格化記録磁界の関係も用いて、 $-0.1\%/^{\circ}\text{C} \sim 0.5\%/^{\circ}\text{C}$ の平均浮上量変化率をもった磁気ヘッドスライダ 1 の規格化記録磁界（ 25°C の磁気ヘッドスライダ 1 の記録磁界での規格化）の温度依存性を求め、図 4 に示す。

ここで、平均浮上量変化率とは、室温（ 25°C ）での浮上量に対して、 1°C あたりの浮上量変化量のパーセンテージを任意の温度範囲において平均化したものである。図 4 には、さらに、室温（ 25°C ）での磁気ディスク 2 の保磁力で規格化をおこなった、磁気ディスク 2 の規格化保磁力の温度依存性も示す。温度変動による磁気ディスク 2 の保磁力の変化を相殺するためには、規格化保磁力と規格化記録磁界が同一線上にあればよいことになるが、図 4 から、 $0.3\%/^{\circ}\text{C}$ の平均浮上量変化率をもつ磁気ヘッドスライダ 1 が最適であることがわかる。

ところで、磁気ヘッドスライダ 1 の規格化記録磁界と磁気ディスク 2 の規格化保磁力の差を、保磁力に対する記録磁界強度の乖離率と定義した場合、一般的な磁気ディスク装置において、 $5^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ の保証温度域では、保磁力に対する記録磁界強度の乖離率として、 $\pm 6\%$ まで、許容している。したがって、以下、任意の温度域での磁気ディスク装置の磁気記録に関する信頼性を議論する上で、この保磁力に対する記録磁界強度の乖離率 $\pm 6\%$ を評価指針とする。

次に、浮上量変化率と保磁力に対する記録磁界強度の乖離率の関係を図 5 に示す。 $0.15\%/^{\circ}\text{C} \sim 0.45\%/^{\circ}\text{C}$ の浮上量変化率の範囲内で、保磁力に対する記録磁界強度の乖離率が $\pm 6\%$ 以下となっており、浮上量変化率を $0.15\%/^{\circ}\text{C} \sim 0.45\%/^{\circ}\text{C}$ の範囲に設計するこ

とにより、従来に比して広範な温度域（この例では、 $-25^{\circ}\text{C} \sim 75^{\circ}\text{C}$ ）で、高い信頼性で磁気記録が可能となる。

浮上量変化率が $0.15\%/^{\circ}\text{C} \sim 0.45\%/^{\circ}\text{C}$ に入らない場合には、浮上量変化率が $0.15\%/^{\circ}\text{C}$ 以下では、高温 75°C 以上で記録磁界強度が磁気ディスクの保磁力に対して相対的に強くなりすぎ、隣接トラックに影響がでるようになり、さらに、 $0.1\%/^{\circ}\text{C}$ 以下では、高温に加えて、低温 -25°C 以下で、磁気ヘッドスライダからの書き込み磁界では十分な書き込みが行えないという問題が生じるようになる。反対に浮上量変化率が $0.45\%/^{\circ}\text{C}$ 以上の場合は、低温で記録磁界強度が磁気ディスクの保磁力に対して相対的に強くなりすぎ、隣接トラックに影響がでるようになる。

なお、本発明の第1の実施例では、 $-25^{\circ}\text{C} \sim 75^{\circ}\text{C}$ での磁気ディスク装置の使用を前提に有効な浮上量変化率を求めたが、磁気ディスク装置の使用温度条件に合わせて、有効な浮上量変化率を同様な方法で求めることができるのは言うまでもなく、原理的には、どのような使用温度条件でも、低温で浮上を低下させ、高温で浮上を増加させる方向で最適化を行うことにより、低温から高温に渡り、高い信頼性での磁気記録が可能となる。

本発明の第1の実施例では、フレクシャ5の板ばね9に磁気ヘッドスライダ1より熱膨張係数の低い $36\text{Ni}-\text{Fe}$ 合金を用いることにより、磁気ヘッドスライダ1と板ばね9との間の熱膨張係数の差を利用して、クラウン量を温度により変化させ、温度変動に対して浮上量をコントロールすることを意図しているわけであるが、次に、クラウン変化量と、保磁力に対する記録磁界強度の乖離率との間の解析結果を、図6、図7に示す。各温度および、その温度におけるクラウン量を勘案し、修正

レイノルズ方程式を用いて浮上量を解析した後、浮上量と規格化磁界強度の関係から記録磁界強度を求めた。

- 図 6 は、 $0.0 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ 、 $0.4 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ 、 $0.8 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ のクラウン量変化率における、規格化記録磁界の温度依存性と、規格化保磁力の温度依存性を示したものである。図から、 $0.4 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ のクラウン量変化率で、最も規格化保磁力の温度依存性と一致し、温度変動による保磁力の変動を相殺可能であることがわかる。図 7 は、クラウン量変化率と、保磁力に対する記録磁界強度の乖離率を示している。図 7 より $0.26 \text{ nm}/^\circ\text{C} \sim 0.62 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ のクラウン変化量にあるときに、保磁力に対する記録磁界強度の乖離率が $\pm 6\%$ 以下となっており、クラウン量変化率を $0.26 \text{ nm}/^\circ\text{C} \sim 0.62 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ の範囲に設計することにより、従来に比して広範な温度域（この例では、 $-25^\circ\text{C} \sim 75^\circ\text{C}$ ）で、高い信頼性で磁気記録が可能となる。クラウン量変化率が $0.26 \text{ nm}/^\circ\text{C} \sim 0.62 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ に入らない場合には、 $0.26 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ 以下で、低温 -25°C 以下で、磁気ヘッドスライダからの書き込み磁界では十分な書き込みが行えないという問題が生じるようになり、 $0.62 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ 以上の場合で、高温 75°C 以上で記録磁界強度が磁気ディスクの保磁力に対して相対的に強くなりすぎ、隣接トラックに影響がでるようになる。
- クラウン量変化率に関しても、浮上量変化率の場合と同様に、磁気ディスク装置の使用温度条件に合わせて、有効なクラウン量変化率を同様な方法で求めることができるのは言うまでもなく、原理的には、どのような使用温度条件でも、低温で低クラウンにすることにより、浮上を低下させ、高温で高クラウンにすることにより、浮上を増加させる方向で最適化を行うことにより、低温から高温に渡り、高い信頼性での磁気記

録が可能となる

次に、クラウン変化量と磁気ヘッドアセンブリ 3 の構成に関して考察をおこなう。まず図 8 を用いて、磁気ヘッドスライダ 1 と板ばね 9 の熱膨張係数の差により、温度変動によりクラウンがどのように変化するの

5 かの説明を行う。

温度 $T = T_0$ で、磁気ヘッドアセンブリ 3 の磁気ヘッドスライダ部の長さ l_0 、厚さ t_2 、熱膨張係数 α_2 、板ばね 9 の厚さ t_1 、熱膨張係数 α_1 とし、かつ、 $\alpha_1 < \alpha_2$ とする（図 8（a）を参照のこと）。

10 この磁気ヘッドスライダ 1 を $T = T_1$ （ $dT = T_1 - T_0 < 0$ ）の条件下におき、磁気ヘッドスライダ 1 と、板ばね 9 の磁気ヘッドスライダ接触部をそれぞれ独立に考えると、それぞれ、

$$l_0 + l_0 \times \alpha_2 \times dT$$

$$l_0 + l_0 \times \alpha_1 \times dT$$

15 の長さとなる（図 8（b1）を参照のこと）。しかしながら、実際は磁気ヘッドスライダ 1 と板ばね 9 は接着されており、連続体となるため、磁気ヘッドスライダ 1 内部には引っ張り応力が、板ばね内部には圧縮応力が発生し、図 8（c1）のような負のクラウン量 h_1 の変化が生じる。

20 $T = T_2$ （ $dT = T_2 - T_0 > 0$ ）の条件下では、反対に板ばね 9 の内部に引っ張り応力が、磁気ヘッドスライダ 1 の内部に圧縮応力が発生し、図 8（c2）のように正のクラウン量の変化が生じる。本説明中では、 $T = T_0$ の状態でクラウン量が 0 の状態を図示しているが、これは説明の簡便化のためであって、本質的には、 $T = T_0$ の状態で、クラウンがどのような値であっても良い。

25 次により詳細に、熱膨張係数とクラウン量の変化率の関係を図 8 の T

= T_1 のケースを用いて考察する。温度 $T = T_1$ における各々独立状態での、磁気ヘッドスライダ 1 の変形量 λ_2 、板ばねの変形量を λ_1 とすると

$$\lambda_2 = l_0 \times \alpha_2 \times dT$$

$$5 \quad \lambda_1 = l_0 \times \alpha_1 \times dT$$

結合状態での結合面の長さを λ とし、内部の応力分布が垂直方向に対して次の関数と仮定すると、磁気ヘッドスライダ 1 内部と、板ばね 9 に働く力はそれぞれ、

$$P_2 = b \times t_2 \times (\lambda_2 - \lambda) \times E_2 \quad / \quad (2 \cdot l_0)$$

$$10 \quad P_1 = b \times t_1 \times (\lambda_1 - \lambda) \times E_1 \quad / \quad (2 \cdot l_0)$$

であり、連続の条件から $P_1 + P_2 = 0$ となる。

(ここで、 b は接触面積であり、 E_1 、 E_2 はそれぞれ磁気ヘッドスライダ 1 と板ばね 9 のヤング率である。) 上記式を整理すると以下の関係式が得られる。

$$15 \quad \lambda = (t_1 \times E_1 \times \lambda_1 + t_2 \times E_2 \times \lambda_2) / (t_1 \times E_1 + t_2 \times E_2) \quad \text{式 (1)}$$

磁気ヘッドスライダ 1 の厚さに対して板ばね 9 の厚さは十分小さいため、近似的に、磁気ヘッドスライダ 1 と接続面の長さは $l_0 - \lambda_2$ となる。

ここで、クラウン量を h 、クラウンの曲率半径を r とすると、

$$20 \quad (r - t_2) : r = l_0 - \lambda : l_0 - \lambda_2$$

$$r : (1/2) (l_0 - \lambda_2) = (1/2) (l_0 - \lambda_2) : h$$

となり、クラウン量に関して以下の関係式が求まる。

$$h = (\lambda - \lambda_2) (l_0 - \lambda_2) / (4 \cdot t_2) \quad \text{式 (2)}$$

式 (1) と式 (2) の関係に以下の値を代入し、熱膨張係数差とクラ

25 ウン量変化率の関係を求めたものを、図 9 に示す。

$$\alpha_2 = 7.8 \times 10^{-6} \text{ } / ^\circ\text{C}$$

$$E_1 = 14000 \text{ K g f } / \text{mm}^2$$

$$E_2 = 40000 \text{ K g f } / \text{mm}^2$$

$$l_0 = 1.2 \text{ mm}$$

5 $T_0 = 25^\circ\text{C}$

$$T_1 = -25^\circ\text{C}$$

$$t_1 = 0.035 \text{ mm}$$

$$t_2 = 0.3 \text{ mm}$$

熱膨張係数差が $-0.55 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \sim -1.52 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

- 10 にあるときに、クラウンの温度に対する変動量が $0.26 \text{ nm} / ^\circ\text{C} \sim 0.62 \text{ nm} / ^\circ\text{C}$ となる。したがって、磁気ヘッドスライダ 1 がアルミナチタン酸カーバイトからなる場合は、板ばね 9 として熱膨張係数の値が $0.23 \times 10^{-6} \sim -0.74 \times 10^{-6}$ の材料（他の板ばね材料の例として、鉄・ニッケル・コバルトを含む合金でもよい）を用いることにより、従来に比して広範な温度域（この例では、 $-25^\circ\text{C} \sim 75^\circ\text{C}$ ）で、磁気ヘッドスライダ 1 の浮上量を適切に温度に対してコントロールでき、磁気ディスク 2 の保磁力の温度依存性を相殺することが可能となり、高い信頼性で磁気記録が可能となる。

- 図 10、図 11 に本発明の第 1 の実施例として板ばね 9 に 1.2×10^{-6} の熱膨張係数を持つ、インバー合金（ $36 \text{ Ni} - \text{Fe}$ ）を用いた場合の詳細な解析結果を示す。図 10 は、各温度に対する、クラウン・浮上量の変動量を図 8 と同様な解析と、修正レイノルズ方程式の解析によりそれぞれ求めた結果である。図 11 は、各温度の浮上量解析結果から、規格化磁気記録磁界を算出し、磁気ディスク 2 の規格化保磁力と共に図示したものである、この実施例 1 では、 $-50^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$ の温度範
- 25

囲において、保磁力に対する記録磁界強度の乖離率が $\pm 6\%$ 以下となり、磁気ディスク2の保磁力の変動を相殺することが可能であり、高い信頼性で磁気記録が可能となる。

以上のように、本発明の第1の実施例においては、板ばね9として、
5 磁気ヘッドスライダ1より熱膨張係数が小さく、熱膨張係数差が $-0.55 \times 10^{-6} \sim -1.52 \times 10^{-6}$ となるような材料を用いることにより、従来に比して広い温度範囲で、磁気記録の信頼性を損なうことなく、記録を行うことが可能となる。

(実施の形態2)

10 図12は、本発明の第2の実施例における磁気ヘッドアセンブリ3の構成図を示すものである。図12において、磁気ヘッドスライダ1の磁気ディスク2に対する摺動面の裏面に、薄膜7を形成し、この薄膜7を介して、磁気ヘッドスライダ1はフレクシャの薄板状の板ばね9に接着されている。板ばね9はディンプル12を介してロードビーム10と接
15 している。磁気ヘッドスライダ1の外形は縦約 1.2 mm 、横約 1.0 mm 、高さ約 0.3 mm である。また、磁気ヘッドスライダ1の母材は、アルミナチタン酸カーバイドであり、薄膜7は、ニッケルおよび鉄からなる、 $36\text{ Ni}-\text{Fe}$ 合金を用いる。アルミナチタン酸カーバイドの熱膨張係数は、 $7.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であり、 $36\text{ Ni}-\text{Fe}$ 合金の熱膨
20 張係数は、 $1.2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ である。

この薄膜7の膜厚 t 、熱膨張係数 α_1 、磁気ヘッドスライダ1の熱膨張係数 α_2 としたときの、クラウン量変化率と薄膜7の膜厚の関係を図13に示す。横軸は、磁気ヘッドスライダ1の膜厚に対する薄膜7の膜厚 t のパーセンテージを、縦軸には、クラウン量変化率を図示している。こ
25 の解析は、図8を用いて説明を行った実施の形態1の場合と同じ解析方

法を用いており、計算に用いたパラメータも実施の形態 1 と同じ値を用いている。

薄膜 7 の膜厚が磁気ヘッドスライダ 1 の膜厚に対して、10%～50%にあるとき、 $(\alpha_1 - \alpha_2) \times t$ が、 $-2.20 \times 10^{-7} \text{ mm/}^\circ\text{C}$ ～ $-4.60 \times 10^{-7} \text{ mm/}^\circ\text{C}$ にあれば、クラウン量変化率が、 $0.26 \text{ nm/}^\circ\text{C}$ ～ $0.62 \text{ nm/}^\circ\text{C}$ となる。したがって、 $-2.20 \times 10^{-7} \text{ mm/}^\circ\text{C} > (\alpha_1 - \alpha_2) \times t_1 > -4.6 \times 10^{-7} \text{ mm/}^\circ\text{C}$ になるように、薄膜の材料と厚さを設計することにより、従来に比して広範な温度域（この例では、 -25°C ～ 75°C ）で、磁気ヘッドスライダ 1 の浮上量を適切に温度に対してコントロールでき、磁気ディスク 2 の保磁力の温度依存性を相殺することが可能となり、高い信頼性で磁気記録が可能となる。

なお、第 1 の実施例では、磁気ヘッドスライダ 1 と板ばね 9 の熱膨張係数の差を利用して、温度変動に対してクラウン量を変化させる構成を用い、第 2 の実施例では、磁気ヘッドスライダ 1 と磁気ヘッドスライダ 1 の裏面に構成した薄膜 7 の熱膨張係数と、膜厚を利用してクラウン量を変化させる構成を用いたが、本発明はこれらの構成に限定されるものではなく、磁気ヘッドスライダ 1 の浮上量を温度に対し、低温で低浮上に、高温で高浮上に制御することにより、温度変動による磁気ディスク 2 の保磁力変動を相殺することにより、従来に比して広範な温度域で安定した磁気記録を行うことにある。したがって、例えば、図 14 に示すように、パイメタル構造の板ばね 6 を用いることにより、本実施例 1、2 と同様に、 $0.26 \sim 0.62 \text{ nm/}^\circ\text{C}$ のクラウン変化量を持つ、磁気ヘッドアセンブリ 3 を構成することも可能であり、また、クラウン量だけでなく、板ばね 9 から磁気ヘッドスライダ 1 にかかる静荷重を温度

により変化させる方法などによっても、温度変動に対する浮上量の変化率を $0.15\%/^{\circ}\text{C} \sim 0.45\%/^{\circ}\text{C}$ の範囲にすることが可能である。

(実施の形態 3)

図 15、本発明の第 3 実施例における磁気ディスク装置の概略構成を示すブロック図である。

同図において磁気ヘッドアセンブリ 3 は情報の記録再生を行う磁気記録再生素子 20 を搭載する磁気ヘッドスライダ 1 と、板ばね 9 ・配線構造体 8 ・ロードビーム 10 を有するサスペンション 4 と、浮上量制御手段として機能する圧電素子 31 から構成されている。記録再生回路部 4
10 2 は、記録信号の生成、プリアンプ 43 を通して増幅された再生信号からの再生情報の生成、および、記録再生信号の変調／復調を行う回路から構成されており、アクチュエータ機構 13 は、磁気ヘッドアセンブリ 3 を支持したアームと、このアームをベアリング 14 を中心に一定角度範囲で回動させる駆動機構、いわゆるボイスコイルモータ 15 とを有し
15 ている。38 はアクチュエータ機構 13 を駆動するボイスコイルモータ駆動回路であり、後述する CPU 33 からの制御信号に基づき、磁気ヘッドスライダ上の磁気記録再生素子 20 を目的トラック上に位置整合させるべくボイスコイルモータに所要の電流を供給する。

CPU 33 は、サーボデータ検出回路 41 より入手したサーボデータ
20 、および HDC 34 を介してホスト 37 より入力された記録／再生のアドレス情報を含むコマンドをもとに位置決め制御を行う。また、CPU 33 は、温度センサ 32 で検知された温度検知情報を増幅回路 44 および A/D 変換機 45 を通して取りこみ、その温度に対して書き込みが可能な浮上量を算出、もしくは、ROM 35 内にあらかじめ記憶しておい
25 たテーブルに基づいて決定し、クラウン量を変化させることにより浮上

量の調整を行う。具体的には、CPU 33が算出、もしくは、ROM 35内にあらかじめ記憶しておいたテーブルに基づいて、目標クラウン値をクラウン量制御回路40に対して入力し、クラウン量制御回路40が圧電素子31に制御電圧を印可して磁気ヘッドスライダ1のクラウン量を最適に制御する。

所望の温度環境条件に対する必要な浮上量変化率、すなわち、ここでは、クラウン量変化率は、本発明の実施の形態1と同様であるため、ここでは説明を省略する。

このように、本実施の形態3においては、温度センサ32により測定した、温度情報からアクティブにクラウン量を制御することにより、磁気ヘッドスライダの浮上量の調整を行い、磁気ディスク2の保磁力の温度依存性を相殺することにより、高い信頼性で磁気記録を可能とする。

なお、実施の形態3では、クラウン量制御回路40により、磁気ヘッドのクラウン量を制御することにより、目的浮上量を得る構成をとったが、磁気ヘッドスライダ1に加える静荷重を制御するなどの方法によっても、目的浮上量を得ることは可能であり、温度検知手段32による温度検知結果をもとに、低温では低浮上に、高温では、高浮上になるように、浮上量制御手段を用いて浮上量を制御することにより、同様な効果が得られる。

請 求 の 範 囲

1. 情報の記録再生を行う磁気記録再生素子（20）を搭載した磁気ヘッドスライダ（1）と、
- 5 前記磁気ヘッドスライダ（1）を接着し支持する薄板状の板ばね（9）、配線構造体（8）、およびロードビーム（10）を有するサスペンション（4）と、
情報を保持する磁気ディスク（2）と、
前記磁気ディスク（2）の回転駆動手段（16）と、
前記磁気ヘッドスライダ（1）および前記サスペンション（4）からなる磁気
10 ヘッドアセンブリ（3）を、前記磁気ディスク（2）の情報記録面に沿って移送するアクチュエータ機構（13）とを有する磁気ディスク装置において、
前記磁気ディスク装置内の温度に応じて、前記磁気ディスク（2）に対する前記磁気ヘッドスライダ（1）の浮上量を変化させる手段を有し、
特に、室温（25℃）より低温時に、室温での浮上量より浮上量を減少させ、
15 室温より高温時に、室温での浮上量より浮上量を増加させる手段を具備することを特徴とする磁気ディスク装置。
2. 室温状態（25℃）での浮上量に対して、所望の温度範囲において、浮上量を温度に対して単調に変化させる手段を具備し、温度変動による平均浮上量変化率が、0.15%/℃～0.45%/℃の範囲にあることを特徴とする、請求
20 項1に記載の磁気ディスク装置。
3. 情報の記録再生を行う磁気記録再生素子（20）を搭載した磁気ヘッドスライダ（1）と、

前記磁気ヘッドスライダ（１）を接着し支持する薄板状の板ばね（９）、配線構造体（８）、およびロードビーム（１０）を有するサスペンション（４）と、情報を保持する磁気ディスク（２）と、

前記磁気ディスク（２）の回転駆動手段（１６）と、

- ５ 前記磁気ヘッドスライダ（１）および前記サスペンション（４）からなる磁気ヘッドアセンブリ（３）を、前記磁気ディスク（２）の情報記録面に沿って移送するアクチュエータ機構（１３）とを有する磁気ディスク装置において、

前記磁気ヘッドアセンブリ（３）内に温度変動により応力を発生させる構造を備え、室温（２５℃）より低温時に、前記磁気ヘッドスライダ（１）のクラウン量を小さく、室温より高温時に、前記磁気ヘッドスライダ（１）のクラウン量を大きくすることを特徴とする磁気ディスク装置。

10

- ４． 所望の温度範囲において、温度変動によるクラウン量の変化率が、 $0.26 \sim 0.62 \text{ nm/}^\circ\text{C}$ の範囲にあることを特徴とする、請求項３に記載の磁気ディスク装置。
- 15

５． 室温状態（２５℃）での浮上量に対して、所望の温度範囲において、温度変動による平均浮上量変化率が、 $0.15\% \sim 0.45\% / ^\circ\text{C}$ の範囲にあることを特徴とする、請求項３または請求項４に記載の磁気ディスク装置。

20

６． 情報の記録再生を行う磁気記録再生素子（２０）を搭載した磁気ヘッドスライダ（１）と、前記磁気ヘッドスライダ（１）を接着し支持する薄板状の板ばね（９）と、配線構造体（８）と、ロードビーム（１０）とを有する磁気ヘッドアセンブリ（３）において、

前記板ばね（９）の熱膨張係数 α_1 、前記磁気ヘッドスライダ（１）の熱膨張係数 α_2 として、

$$-13.2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C} < \alpha_1 - \alpha_2 < -5.5 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$$

の関係を満足することを特徴とする、磁気ヘッドアセンブリ。

5

7. 前記磁気ヘッドスライダ（１）がアルミナチタン酸カーバイトを含み、
前記板ばね（９）が熱膨張係数 $2.3 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ 以下の鉄・ニッケルを含む
インパー合金からなることを特徴とする請求項６に記載の磁気ヘッドアセンブリ

。

10

8. 前記磁気ヘッドスライダ（１）がアルミナチタン酸カーバイトを含み、前
記板ばね（９）が熱膨張係数 $2.3 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ 以下の鉄・ニッケル・コバルト
を含む合金からなることを特徴とする請求項６に記載の磁気ヘッドアセンブリ。

15 9. 情報の記録再生を行う磁気記録再生素子（２０）を搭載した磁気ヘッドス
ライダ（１）と、

前記磁気ヘッドスライダ（１）を接着し支持する薄板状の板ばね（９）、配線
構造体（８）、およびロードビーム（１０）を有するサスペンション（４）と、
情報を保持する磁気ディスク（２）と、

20 前記磁気ディスク（２）の回転駆動手段（１６）と、

前記磁気ヘッドスライダ（１）および前記サスペンション（４）からなる磁気
ヘッドアセンブリ（３）を、前記磁気ディスク（２）の情報記録面に沿って移送
するアクチュエータ機構（１３）とを有する磁気ディスク装置において、

前記板ばね（９）の熱膨張係数 α_1 、前記磁気ヘッドスライダ（１）の熱膨張
25 係数 α_2 として、

$$-13.2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C} < \alpha_1 - \alpha_2 < -5.5 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$$

の関係を満足することを特徴とする、磁気ディスク装置。

10. 前記磁気ヘッドスライダ（１）がアルミナチタン酸カーバイトを含み、
5 前記板ばね（９）が熱膨張係数 $2.3 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ 以下の鉄・ニッケルを含む
インバー合金からなることを特徴とする請求項 9 に記載の磁気ディスク装置。

11. 前記磁気ヘッドスライダ（１）がアルミナチタン酸カーバイトを含み、
前記板ばね（９）が熱膨張係数 $2.3 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ 以下の鉄・ニッケル・コバ
10 ルト合金からなることを特徴とする請求項 9 に記載の磁気ディスク装置。

12. 情報の記録再生を行う磁気記録再生素子（２０）を搭載した磁気ヘッド
スライダ（１）と、前記磁気ヘッドスライダ（１）を接着し支持する薄板状の板
ばね（９）と、配線構造体（８）と、ロードビーム（１０）とを有する磁気ヘッ
15 ドアセンブリ（３）において、

前記磁気ヘッドスライダ（１）の磁気ディスク（２）に対する摺動面の裏面に
、前記磁気ヘッドスライダ（１）を構成する材料より熱膨張係数の小さい薄膜（
７）を形成していることを特徴とする磁気ヘッドアセンブリ。

20 13. 前記磁気ヘッドスライダ（１）がアルミナチタン酸カーバイトを含み、
前記薄膜（７）の熱膨張係数 α_1 、膜厚 t_1 、前記磁気ヘッドスライダ（１）の熱
膨張係数 α_2 として、

$$-2.20 \times 10^{-7} \text{mm} / ^\circ\text{C} > (\alpha_1 - \alpha_2) \times t_1 > -4.6 \times 10^{-7} \text{mm} / ^\circ\text{C}$$

の関係を満足することを特徴とする請求項 1 2 に記載の磁気ヘッドアセンブリ

。

- 1 4. 前記磁気ヘッドスライダ (1) がアルミナチタン酸カーバイトを含み、
5 前記薄膜 (7) の膜厚が、磁気ヘッドスライダ (1) の厚さの 1 0 % から 5 0 %
の膜厚であることを特徴とする、請求項 1 2 もしくは請求項 1 3 に記載の磁気ヘ
ッドアセンブリ。

- 1 5. 情報の記録再生を行う磁気記録再生素子 (2 0) を搭載した磁気ヘッド
10 スライダ (1) と、前記磁気ヘッドスライダ (1) の磁気ディスク (2) に対す
る摺動面の裏面に形成された薄膜 (7) と、

前記磁気ヘッドスライダ (1) の裏面を薄膜 (7) を介し接着支持する薄板状
の板ばね (9)、配線構造体 (8)、およびロードビーム (1 0) を有するサス
ペンション (4) と、

- 15 情報を保持する磁気ディスク (2) と、

前記磁気ディスク (2) の回転駆動手段 (1 6) と、

前記磁気ヘッドスライダ (1) および前記サスペンション (4) からなる磁気
ヘッドアセンブリ (3) を、前記磁気ディスク (2) の情報記録面に沿って移送
するアクチュエータ機構 (1 3) とを有する磁気ディスク装置において、

- 20 前記薄膜 (7) の熱膨張係数が、前記磁気ヘッドスライダ (1) の熱膨張係数
より小さいことを特徴とする、磁気ディスク装置。

- 1 6. 前記磁気ヘッドスライダ (1) がアルミナチタン酸カーバイトを含み、
前記薄膜 (7) の熱膨張係数 α_1 、膜厚 t_1 、前記磁気ヘッドスライダ (1) の熱
25 膨張係数 α_2 として、

$$-2.20 \times 10^{-7} \text{mm}/^{\circ}\text{C} > (\alpha_1 - \alpha_2) \times t_1 > -4.6 \times 10^{-7} \text{mm}/^{\circ}\text{C}$$

の関係を満足することを特徴とする請求項 15 に記載の磁気ディスク装置。

- 5 17. 前記磁気ヘッドスライダ（１）がアルミナチタン酸カーバイトを含み、前記薄膜（７）の膜厚が、磁気ヘッドスライダ（１）の厚さの１０％から５０％の膜厚であることを特徴とする、請求項 15 もしくは請求項 16 に記載の磁気ディスク装置。
- 10 18. 情報の記録再生を行う磁気記録再生素子（２０）を搭載した磁気ヘッドスライダ（１）と、前記磁気ヘッドスライダ（１）を接着し支持する薄板状の板ばね（９）と、配線構造体（８）と、ロードビーム（１０）を有する磁気ヘッドアセンブリ（３）において、
- 15 前記磁気ヘッドスライダ（１）を接着し支持する前記薄膜状の板ばね（９）が、二枚の熱膨張係数の異なる薄板からなるバイメタル構造で構成されることを特徴とする、磁気ヘッドアセンブリ。
19. 情報の記録再生を行う磁気記録再生素子（２０）を搭載した磁気ヘッドスライダ（１）と、
- 20 前記磁気ヘッドスライダ（１）を接着し支持する薄板状の板ばね（９）、配線構造体（８）、およびロードビーム（１０）を有するサスペンション（４）と、情報を保持する磁気ディスク（２）と、
- 前記磁気ディスク（２）の回転駆動手段（１６）と、

前記磁気ヘッドスライダ（１）および前記サスペンション（４）からなる磁気ヘッドアセンブリ（３）を、前記磁気ディスク（２）の情報記録面に沿って移送するアクチュエータ機構（１３）とを有する磁気ディスク装置において、

5 前記磁気ヘッドスライダ（１）を接着し支持する薄膜状の板ばね（９）が、二枚の熱膨張係数の異なる薄板からなるバイメタル構造で構成されることを特徴とする、磁気ディスク装置。

20. 情報の記録再生を行う磁気記録再生素子（２０）を搭載した磁気ヘッドスライダ（１）と、

10 前記磁気ヘッドスライダ（１）を接着し支持する薄板状の板ばね（９）、配線構造体（８）、およびロードビーム（１０）を有するサスペンション（４）と、情報を保持する磁気ディスク（２）と、

前記磁気ディスク（２）の回転駆動手段（１６）と、

15 前記磁気ヘッドスライダ（１）および前記サスペンション（４）からなる磁気ヘッドアセンブリ（３）を、前記磁気ディスク（２）の情報記録面に沿って移送するアクチュエータ機構（１３）とを有する磁気ディスク装置において、

前記、磁気ディスク装置内部の温度を検知する温度検知手段（３２）と、前記温度検知手段（３２）による温度検知結果をもとに前記磁気ディスク（２）に対する前記磁気ヘッドスライダ（１）の浮上量を変更する浮上量制御手段とを具備

20 することを特徴とする磁気ディスク装置

21. 前記浮上量制御手段は、室温より温度が低い場合に、前記磁気ディスク（２）に対する前記磁気ヘッドスライダ（１）の浮上量を減少するように、当該浮上量を変更することを特徴とする請求項20に記載の磁気ディスク装置。

22. 前記浮上量制御手段は、室温より温度が高い場合に、前記磁気ディスク（2）に対する前記磁気ヘッドスライダ（1）の浮上量を増加するように、当該浮上量を変更することを特徴とする請求項20に記載の磁気ディスク装置。

- 5 23. 前記浮上量制御手段は、室温より温度が低い場合に、前記磁気ディスク（2）に対する前記磁気ヘッドスライダ（1）の浮上量を減少するように、室温より温度が高い場合に、前記磁気ディスク（2）に対する前記磁気ヘッドスライダ（1）の浮上量を増加するように、当該空隙量を変更することを特徴とする請求項20に記載の磁気ディスク装置。

10

24. 室温状態（25℃）での浮上量に対して、所望の温度範囲において、温度変動による平均浮上量変化率が、0.15%/℃～0.45%/℃の範囲にあることを特徴とする、請求項20ないし請求項23のいずれか1項に記載の磁気ディスク装置。

15

25. 情報の記録再生を行う磁気記録再生素子（20）を搭載した磁気ヘッドスライダ（1）と、

前記磁気ヘッドスライダ（1）を接着し支持する薄板状の板ばね（9）、配線構造体（8）、およびロードビーム（10）を有するサスペンション（4）と、

- 20 情報を保持する磁気ディスク（2）と、

前記磁気ディスク（2）の回転駆動手段（16）と、

前記磁気ヘッドスライダ（1）および前記サスペンション（4）からなる磁気ヘッドアセンブリ（3）を、前記磁気ディスク（2）の情報記録面に沿って移送するアクチュエータ機構（13）とを有する磁気ディスク装置において、

前記磁気ディスク装置内部の温度を検知する温度検知手段（３２）と、前記温度検知手段（３２）による温度検知結果をもとに前記磁気ヘッドスライダ（１）のクラウン量を変更するクラウン量制御手段（４０）とを具備することを特徴とする磁気ディスク装置。

5

２６． 所望の温度範囲において、温度変動によるクラウン量の変化率が、 $0.26 \sim 0.62 \text{ nm/}^\circ\text{C}$ の範囲にあることを特徴とする、請求項２５に記載の磁気ディスク装置。

１０ ２７． 室温状態（ 25°C ）での浮上量に対して、所望の温度範囲において、温度変動による平均浮上量変化率が、 $0.15\% / ^\circ\text{C} \sim 0.45\% / ^\circ\text{C}$ の範囲にあることを特徴とする、請求項２５または請求項２６に記載の磁気ディスク装置。

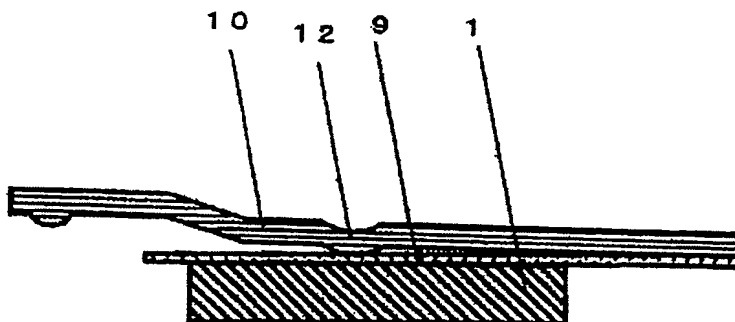
15

20

25

1/11

F I G. 1



2/11

FIG. 2

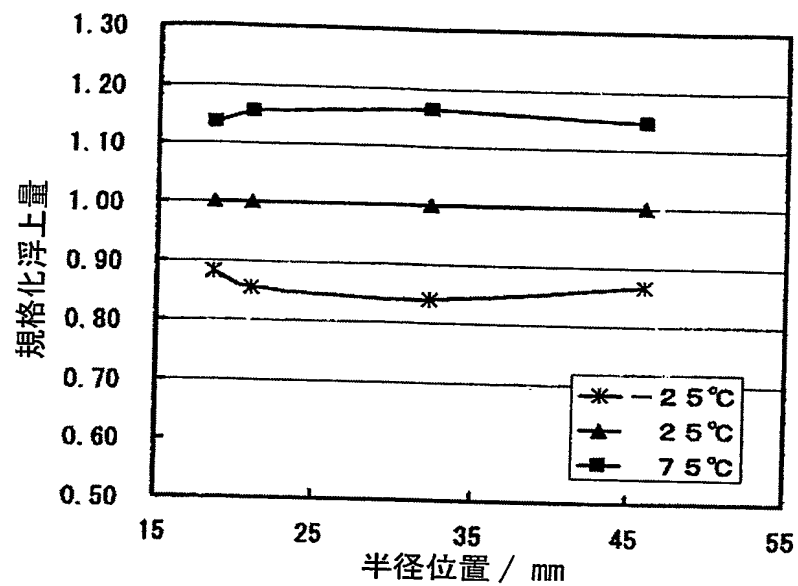
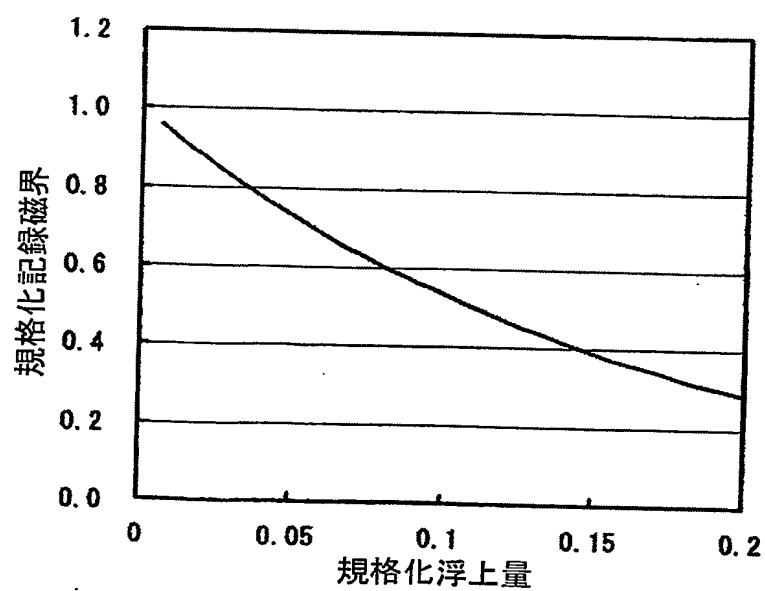


FIG. 3



3/11

FIG. 4

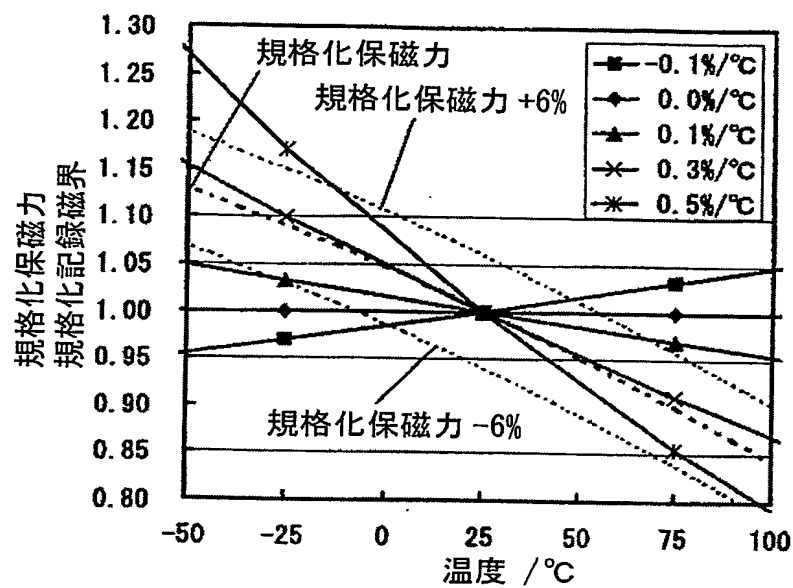
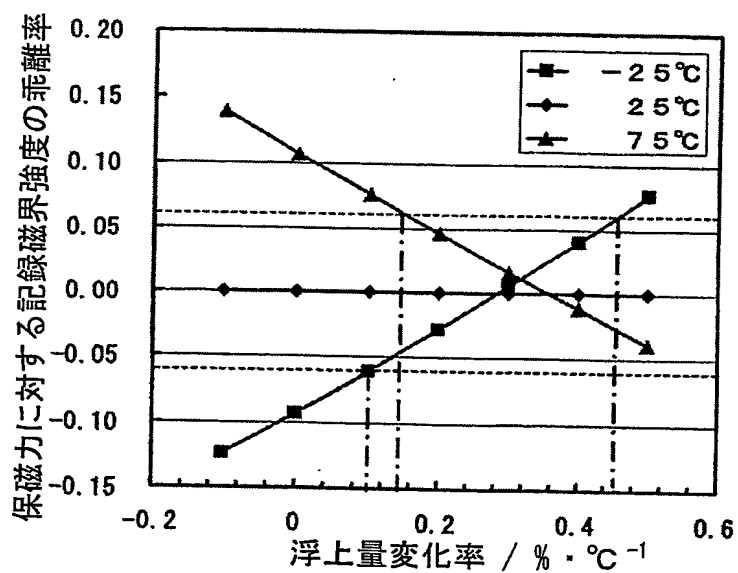


FIG. 5



4/11

F I G. 6

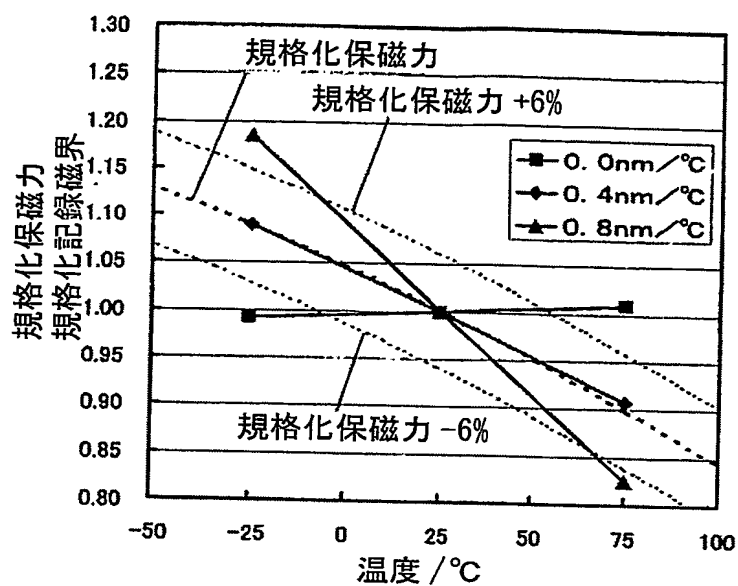
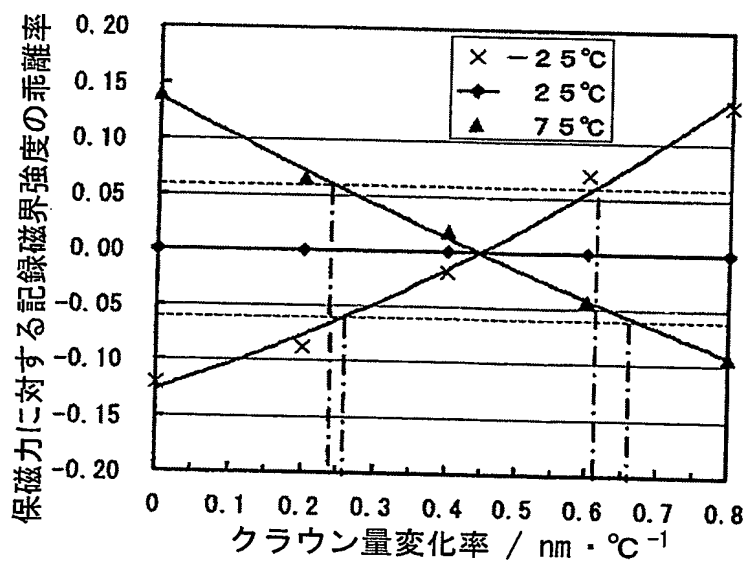


FIG. 7



5/11

FIG. 8

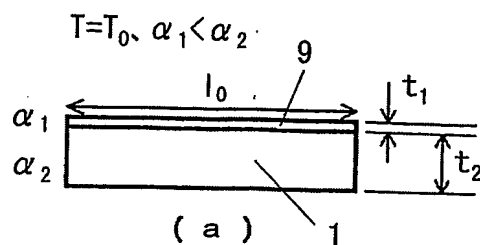
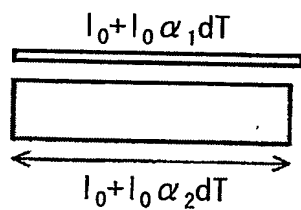
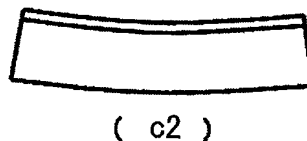
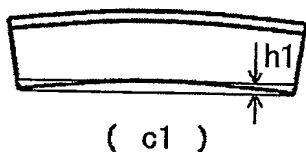
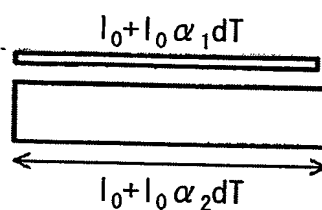
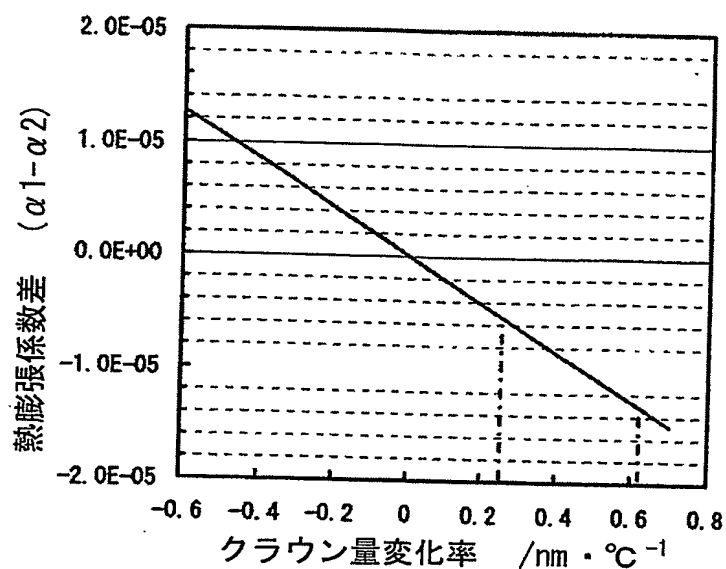
 $T=T_1 \quad (dT=T_1-T_0 < 0)$  $T=T_2 \quad (dT=T_2-T_0 > 0)$ 

FIG. 9



6/11

FIG. 10

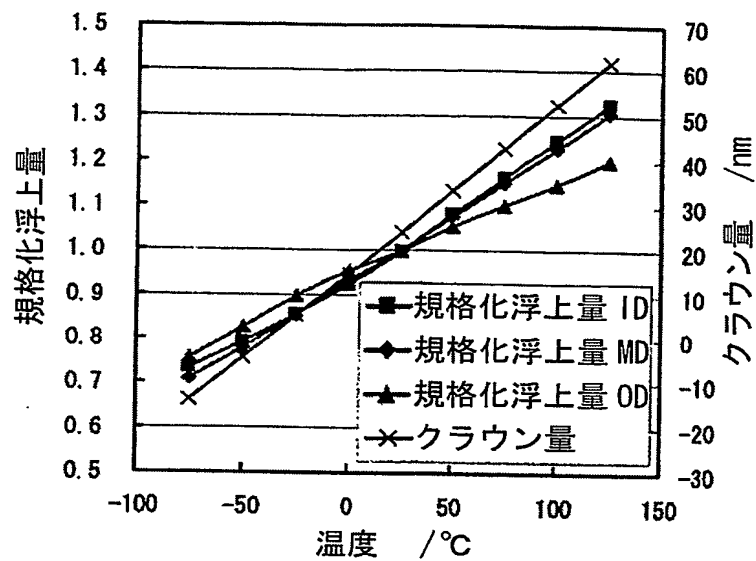
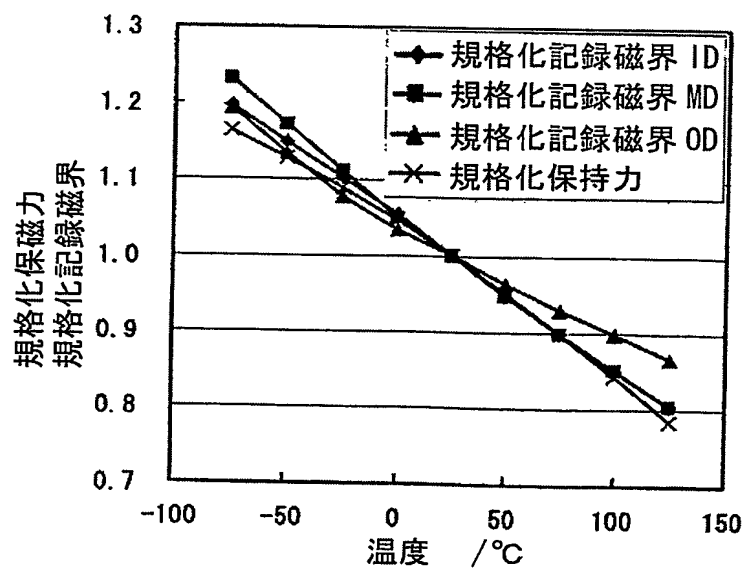


FIG. 11



7/11

FIG. 12

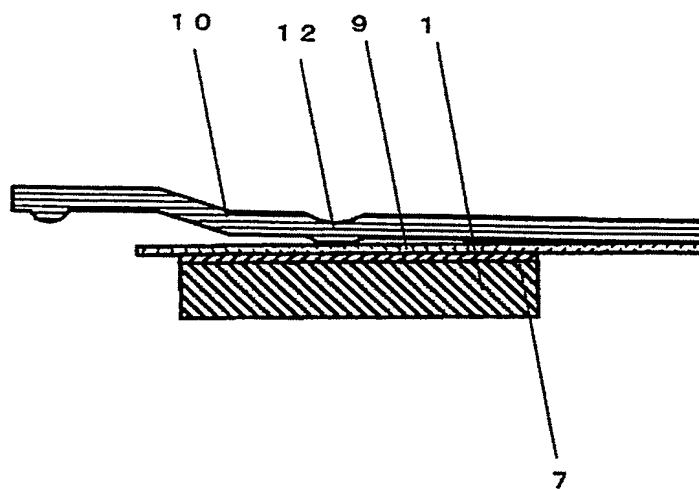
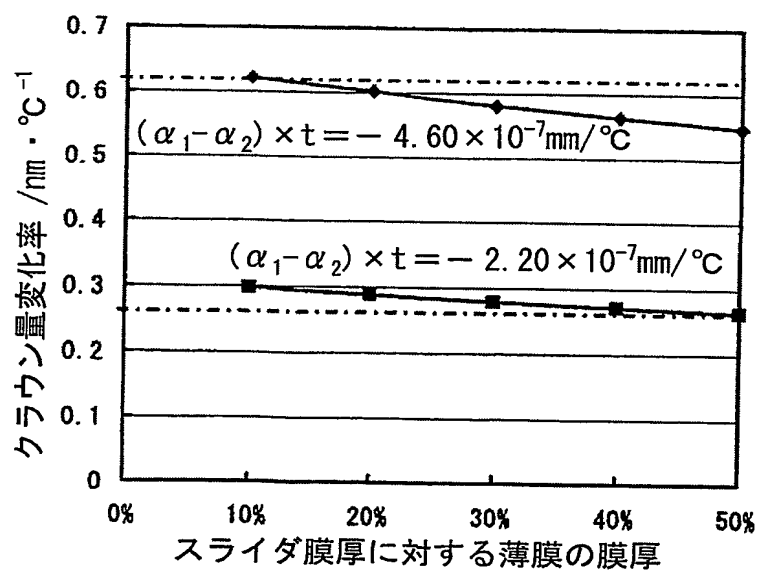


FIG. 13



9/11

FIG. 16

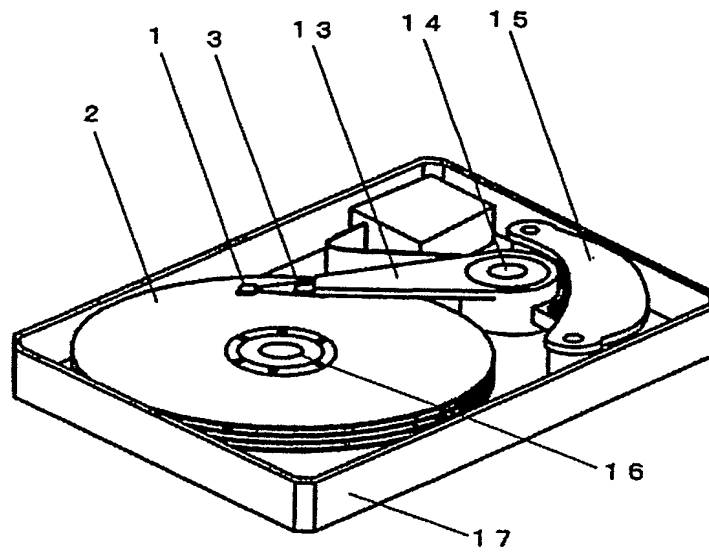
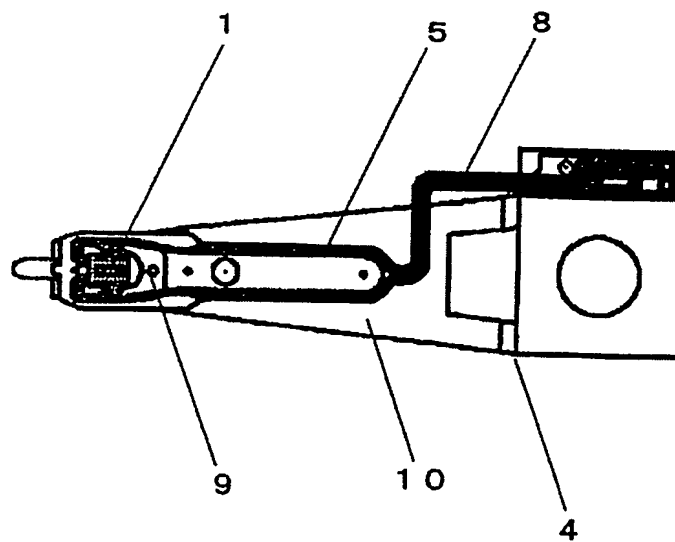


FIG. 17



10/11

FIG. 18

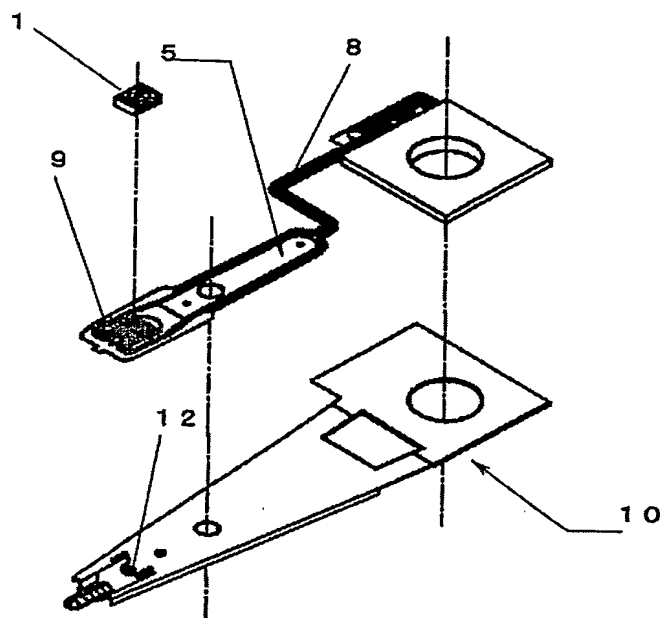
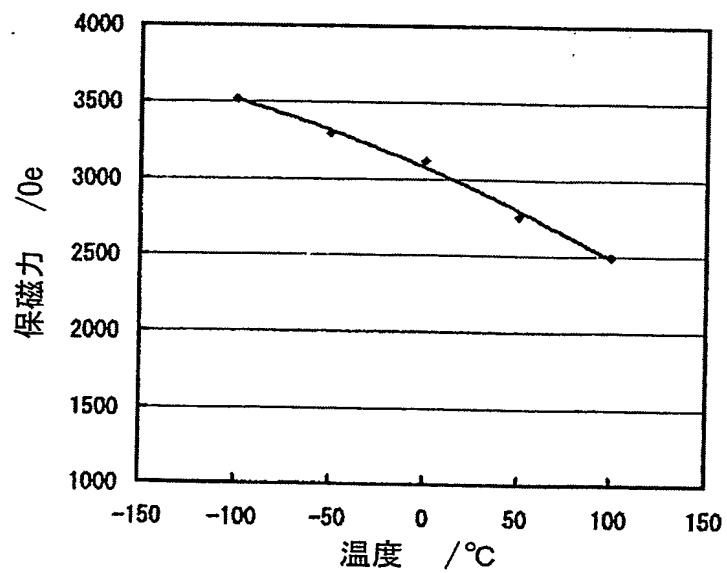


FIG. 19



11/11

FIG. 20

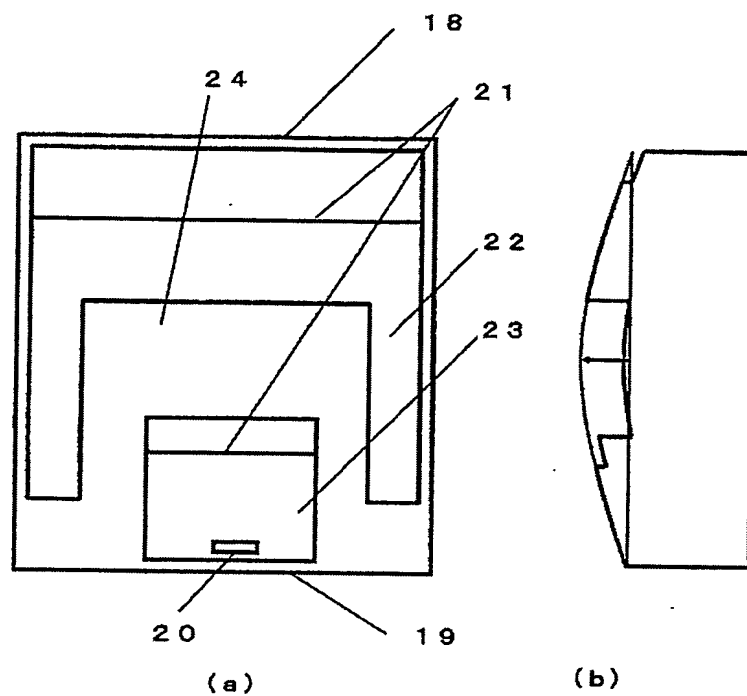
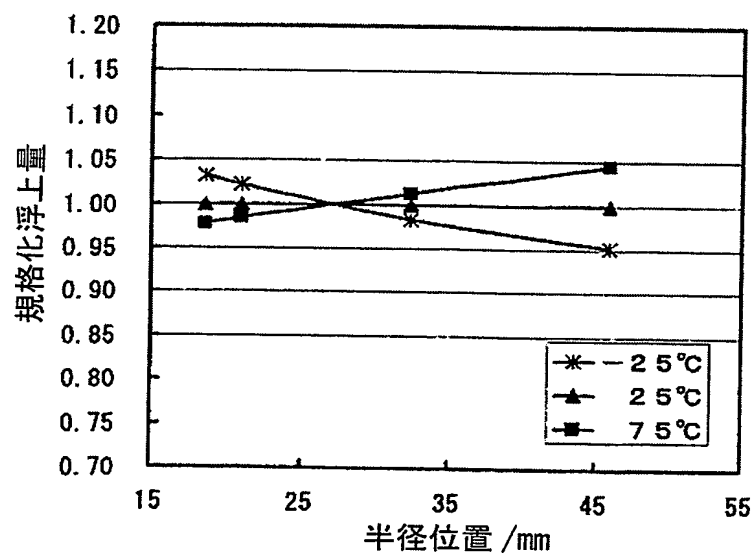


FIG. 21



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/15302

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G11B21/21, G11B5/60, G11B33/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G11B21/16-21/26, G11B5/56-5/60

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 99/48098 A1 (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORP.), 23 September, 1999 (23.09.99), Full text; Figs. 7, 8, 10 & US 6466409 B1	1-27
A	JP 7-320435 A (NEC Corp.), 08 December, 1995 (08.12.95), Full text; Figs. 7, 11 & US 5761001 A1	1-27
A	JP 7-65525 A (Toshiba Corp.), 10 March, 1995 (10.03.95), Full text; Fig. 20 (Family: none)	1-27

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
01 March, 2004 (01.03.04)

Date of mailing of the international search report
16 March, 2004 (16.03.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/15302

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 8-106749 A (Fujitsu Ltd.), 23 April, 1996 (23.04.96), Full text; Figs. 1, 2, 3, 4, 10, 11 (Family: none)	1-27

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP03/15302

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. C1' G11B 21/21
 G11B 5/60
 G11B 33/14

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. C1' G11B 21/16-21/26
 G11B 5/56- 5/60

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	WO 99/48098 A1 (INTERNATIONAL B USINESS MACHINES CORP.) 1999. 0 9. 23、全文、第7, 8, 10図 & US 6466409 B1	1-27
A	JP 7-320435 A (日本電気株式会社) 1995. 1 2. 08、全文、第7, 11図 & US 5761001 A1	1-27
A	JP 7-65525 A (株式会社東芝) 1995. 03. 1 0、全文、第20図 (ファミリーなし)	1-27

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

01. 03. 2004

国際調査報告の発送日

16. 3. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)
 鈴木 重幸

5Q 9653

電話番号 03-3581-1101 内線 3590

C (続き). 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P 8-106749 A (富士通株式会社) 1996. 04. 23、全文、第1, 2, 3, 4, 10, 11図 (ファミリーなし)	1-27

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.